

Joonas Juntunen

TANKORAUDOITETUN MAANVARAISEN LATTIAN MITOITUS

TANKORAUDOITETUN MAANVARAISEN LATTIAN MITOITUS

Joonas Juntunen
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennetekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

Tekijä: Joonas Juntunen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Tankorautoitetun maanvaraisen lattian mitoitus

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Designing of steel-reinforced slab-on-grade

Työn ohjaaja(t): lehtori Antti Ukonmaanaho, Oulun ammattikorkeakoulu

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 36 + 2 liitettä

Opinnäytetyössä tarkasteltiin maanvaraisen teräsbetonilattian eurokoodin mukaista mitoitusta. Työn pääasiallisena kirjallisuuslähteenä käytettiin Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaisemaa by45/BLY7 Betonilattiat 2018 –ohjetta, joka on ainoa maanvaraisen lattian mitoitukseen keskittynyt suomalainen julkaisu.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda eurokoodin käsinlaskentakaavojen pohjalta Microsoft Excel –ohjelmalla selkeä laskentapohja, jolla pystyttäisiin mitoittamaan maanvarainen lattia tankorautoitettuna ja kutistumissaumallisena. Opinnäytetyössä ei käsitelty lattian mitoitusta saumattomana rakenteena tai teräskuiduilla varustettuna. Opinnäytetyössä perehdyttiin mitoituksen käsinlaskennan eri vaiheisiin ja esiteltiin mitoituksessa tarvittavia taulukoita ja teorioita esimerkkilaskuineen.

Työn tuloksena syntynyt laskentapohja mitoittaa maanvaraisen lattian murtorajatilassa ja tekee laatalle lävistys- ja halkeilutarkastelun. Laskentapohja nopeuttaa monivaiheista laskentaa ja tekee lattian mitoittamisesta sujuvampaa ja varmempaa. Lasketanpohja tulee työn tilaajan, Insinööri- ja arkkitehtitoimisto Palola&Piispasen rakennesuunnittelijoiden käyttöön.

Asiasanat: Betonilattia, maanvarainen, mitoitus, alustaluku

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Joonas Juntunen
Title of thesis: Designing of Steel-Reinforced Slab-On-Grade
Supervisor(s): Antti Ukonmaanaho, Oulu University of Applied Sciences
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020
Pages: 36 + 2 appendices

The purpose of the thesis was to investigate the designing of a slab-on-grade based on the calculations provided by the Eurocodes. The main literature source for this thesis was a publication by the Finnish Concrete Association named by45/BLY7 Betonilattiat 2018, which is the only Finnish release on this topic.

The theoretical part focuses on the designing of a steel-reinforced slab-on-grade by explaining the necessary graphs and formulas needed in the designing process. The thesis covers slab-on-grade designing with only steel-reinforcing and with control joints, and it does not cover slab designing without control joints or as a fibre reinforced structure, as the designing process differs greatly from designing with steel-reinforcing and control joints.

Based on the calculations provided by the Eurocodes, a calculation template was made in Microsoft Excel to go alongside with this thesis. The template can be used to quickly calculate the needed reinforcing and to perform a cracking and penetration evaluation based on the reinforcing provided by the user. The thesis was ordered by Palola&Piispanen engineering office, whose consultants were in a need of new calculation template for more efficient designing of a slab-on-grade.

Keywords: Concrete, slab-on-grade, designing, subgrade reaction

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 LATTIAN SUUNNITTELU	7
2.1 Lattioiden kuormat	7
2.2 Kitkavoima	9
2.3 Lattian alusrakenteet	11
2.4 Kutistuma ja lämpötilan muutokset	12
2.5 Lattian saumarakenteet	14
3 LATTIAN KUORMITUSYHDISTELYT JA VOIMASUUREET	17
3.1 Lattian mitoituksen kuormitusyhdistelyt	17
3.2 Mitoittavat voimasuureet	18
4 LATTIAN MITOITUKSEN KULKU	23
4.1 Alustaluvun määrittäminen	23
4.2 Pistekuormasta aiheutuva taivutusmomentti	24
4.3 Kitkavoima ja lämpötilaeroista aiheutuva momentti	27
4.4 Mitoitus murtorajatilassa	28
4.5 Laatan mitoitus käyttörajatilassa	29
4.6 Laatan lävistys	32
5 POHDINTA	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	
Liite 1 Keskeisesti raudoitetun laatan esimerkkilaskelma	
Liite 2 Excel-laskentapohja	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä maanvaraisen teräsbetonilattian mitoitusprosessiin ohjeen by45/BLY7 Betonilattiat 2018 mukaisesti ja tuottaa ohjeen pohjalta mitoituksen käsinlaskennan helpottamiseen käytettävä Microsoft Excel – laskentapohja. Työn tilaajana toiminut Insinööri- ja arkkitehtitoimisto Palola&Piispanen on vuonna 2008 perustettu oululainen suunnittelutoimisto, jonka aloitteesta opinnäytetyötä lähdettiin tekemään. Nopeammalle laskennalle nähtiin tarvetta vanhojen DOS-pohjaisten laskentapohjien jäädessä historiaan.

Työssä käsitellään maanvaraisen lattian rakennesuunnitteluun liittyviä keskeisiä käsitteitä ja laskuja esimerkkilaskuineen. Tavoitteena on, että opinnäytetyö yhdessä by45/BLY7 Betonilattiat 2018 –julkaisun kanssa antaa ohjeistuksen maanvaraisen lattian mitoitukseen. Työn laadittavan laskentapohjan tarkoituksena on nopeuttaa työlästä lattian käsinmitoitusta ja mahdollistaa eri mitoitusilanteiden nopea tarkastelu. Laskuissa ei käsitellä lattian mitoitusta saumattomana tai jännitettynä rakenteena niiden mitoitusprosessien ollessa hyvin erilaiset verrattuna tavalliseen kutistumissaumalliseen lattiaan.

Työn pääasiallinen lähde on Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaisema by45/BLY7 Betonilattiat 2018 –ohje, joka julkaisuhetkellään edustaa Suomen parasta teknistä asiantuntemusta betonilattiarakentamisen alalta. Julkaisun suunnitteluosio on eurokoodien mukaista laskentaa, ja se on tarkoitettu päteville henkilöille sovellettavaksi käytännön rakennuskohteissa.

2 LATTIAN SUUNNITTELU

Betonilattia on usein rakennuksen osa, jonka oletetaan mahdollistavan rakennukselle suunnitellun toiminnan sen koko käyttöiän ajan. Valmiin tilan käyttötarkoituksen tunteminen on suunnittelun tärkeimpiä lähtötietoja, ja sen mukaan valitaan lattiaan kohdistuvat kuormat, rasitukset ja laatuvaatimukset. Erilaiset rakenteet vaativat erilaisia betonilattioita, joista tässä käsitellään maata vasten tai lämmöneristeen päälle valettavaa betonilattiaa, niin sanottua maanvaraista lattiaa. (Betonilattiat 2018. 2018, 55.)

2.1 Lattioiden kuormat

Lattioiden kuormat jaetaan pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Pysyvät kuormat muodostuvat yleensä rakenteiden omasta painosta ja kiinteästi asennetuista laitteista, kuten varastohyllyköistä ja erilaisista koneista. Lattialle kohdistuvat muuttuvat kuormat (hyötykuormat) taas ovat erilaisten henkilö-, tavara- ja liikennekuormien aiheuttamaa piste- tai tasaisesti jakautunutta pintakuormaa. Hyötykuormat jaetaan pitkäaikaisiin ja lyhytaikaisiin kuorman ominaisen vaikutusajan perusteella. Suunnittelussa tulee luokitella kuorman mahdollinen liikkuvuus (kiinteä tai liikkuva) sekä kuorman dynaamisuus. Henkilöautojen ja muiden samankaltaisten ajoneuvojen dynaamista vaikutusta pidetään hyvin pienenä, joten niiden dynaamista vaikutusta ei tarvitse huomioida. (Betonilattiat 2018. 2018, 56-58.)

Suunnittelussa käytettävät kuormien minimiarvot ja pistekuormien kuormituspinta-alat tulee valita voimassa olevista alan kuormitusohjeista tai saada suoraan lattiaa kuormittavien laitteiden valmistajilta. Kuormat eivät kuitenkaan ole aina tasaisesti jakautuneita tai kuormitusohjeiden mukaisia, joten kuormien tapauskohtainen varmistaminen onkin aina välttämätöntä. Tavallisesti lattioille ei katsota aiheutuvan laisinkaan luonnonkuormia, joita rakennuksen muulle osalle voi kohdistua. (Betonilattiat 2018. 2018, 56.)

Erilaiset tuotantolaitokset, varastot ja kuormaukseen liittyvät tilat tulee huomioida mitoituksessa työkone- ja trukkikuormien osalta. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty eurostandardiin SFS-EN 1991-1-1 perustuvat trukkikuorman arviointitaulukot. Trukit on jaettu nettopainon, kuormankantokyvyn ja dimensioiden mukaan kuuteen eri luokkaan

FL1...FL6. Trukin nettopainon ollessa yli 110 kN tulee trukin aiheuttamat kuormitukset määrittää tarkemman analyysin kautta. (Betoni lattiat 2018. 2018, 60.)

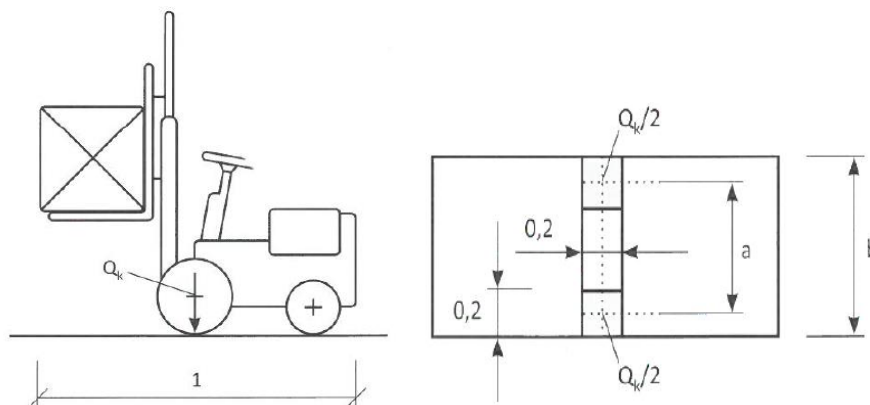
TAULUKKO 1. FL-luokkien mukaiset haarukkatrukkien arvot (SFS-EN 1991-1-1. 2002, 36)

Haarukkatrukin luokka	Nettopaino [kN]	Taakan paino [kN]	Raideleveys a [m]	Kokonaisleveys b [m]	Kokonaispituus l [m]
FL 1	21	10	0,85	1,00	2,60
FL 2	31	15	0,95	1,10	3,00
FL 3	44	25	1,00	1,20	3,30
FL 4	60	40	1,20	1,40	4,00
FL 5	90	60	1,50	1,90	4,60
FL 6	110	80	1,80	2,30	5,10

TAULUKKO 2. Haarukkatrukkien staattinen pystysuuntainen akselikuorma (SFS-EN 1991-1-1. 2002, 36)

Trukkiluokka	Akselikuorma Q_k kN
FL 1	26
FL 2	40
FL 3	63
FL 4	90
FL 5	140
FL 6	170

Taulukossa 1 ja 2 esitettyjen geometrysten mittojen ja trukkiluokan mukaisten akselikuormien sijoittaminen on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Trukkien geometriset mitat ja kuormakaavio (Betonilattiat 2018. 2018, 61)

Suurissa varastoissa hyllykuormat määritellään varastotyyppin, asennettavan hyllyjärjestelmän ja varastoitavan tavaratavaran perusteella. Hyllyjärjestelmän suurinta sallittua jalkakuormaa ja kuormituspinta-alaa voidaan käyttää mitoituksen kuormituksena. Usean hyllyjärjestelmän sijaitessa toisistaan selät vastakkain, tulee lähekkäisten pistekuormien yhdistetty vaikutus huomioida suunnittelussa. Ohjeistuksena kuuluukin käsitellä kahta pistekuormaa, joiden etäisyys toisistaan on alle kaksi kertaa laatan paksuus, yhtenä pistemäisenä kuormana. Mikäli pistekuormat sijaitsevat tätä suuremman etäisyyden päässä toisistaan, käsitellään niitä kahtena erillisenä pistekuorman kuormitustapauksena. Taulukossa 3 on esimerkkejä tyypillisistä eurolavahyllyjen lattiakuormasta. (Betonilattiat 2018. 2018, 58, 97.)

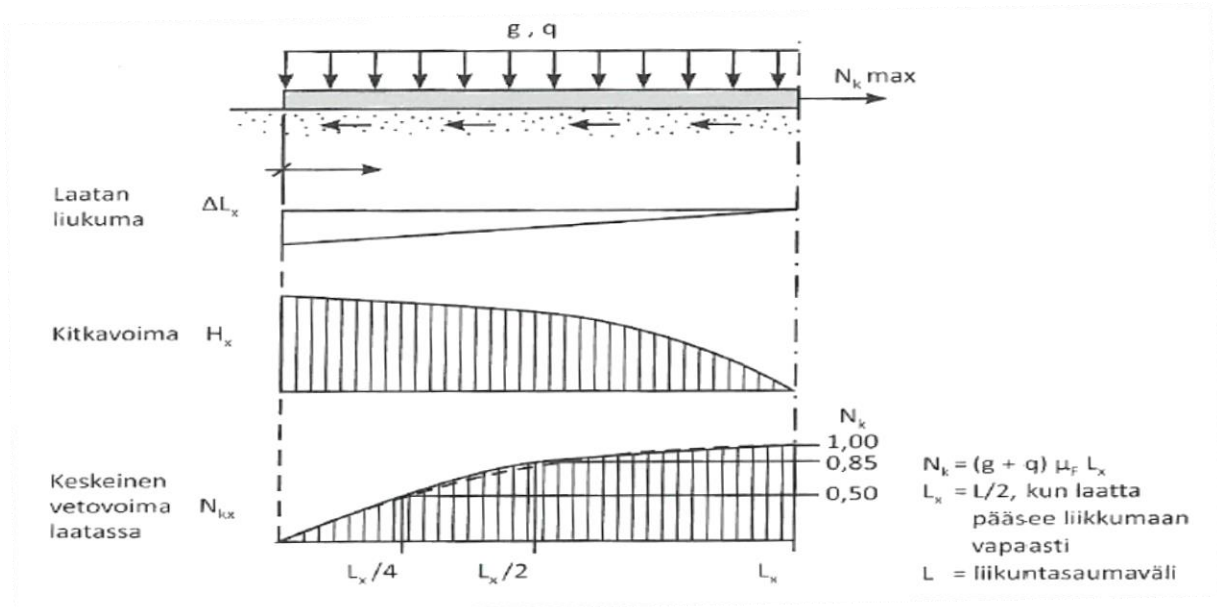
TAULUKKO 3. Esimerkkejä eurolavahyllyjen lattiakuormista (Betonilattiat 2018. 2018, 59)

Hyllytyyppi	Hyllyn korkeus	Pistekuorma [kN]		
Lavan paino		600 kg	800 kg	1000 kg
Yksinkertainen	0...3 m	6...8	8...24	10... 30
	3...7 m	18...42	24...56	30...70
	7...40 m	42...252	56...336	70...240
Selät vastakkain	0...3 m	12...36	16...48	20...60
	3...7 m	36...84	48...112	60...140
	7...40 m	84...504	112... 674	140...840

2.2 Kitkavoima

Kun laatan ja sen välisen alustan liike on osittain tai kokonaan estetty, aiheuttavat kutistuma ja lämpötilan muutokset kitkavoimaa. Estetty liike aiheuttaa laattaan keskeistä vetovoimaa, joka yhdessä betonin halkeilun hallinnan kanssa on monesti kevyesti kuormitetuissa lattioissa raudoituksen mitoittava suure. Kuvassa 2 on esitetty keskeisen vetovoiman suuruus etäisyyden L_x funktiona. Kitkavoiman ajatellaan pysyvän vakiona koko laatan alueella ja sen täyteen arvoonsa kehittyminen vaatii noin 1,5 mm liukuman.

Kutistuessaan laatan vapaat reunat pyrkivät siirtymään laatan pituussuunnassa keskustaa kohti, mutta kitkavoimien pienentävää vaikutusta tähän siirtymään ei voida pitää merkittävänä. (Betonilattiat 2018. 2018, 66-68.)



KUVA 2. Laatan vetäytymisestä aiheutuva laatan liukuma, kitkavoima ja siitä aiheutuva laatan keskeinen vetovoima (Betonilattiat 2018. 2018, 69)

Laatan liukuessa alustallaan ensimmäistä kertaa ovat kitkavoimat suurimmillaan, jolloin kitkavoimia arvioitaessa ilmoitetaan kitkakerroin tänä ensiliikkeen arvona. Kitkakertoimen arvot vaihtelevat eri lähteissä samanlaisille rakennetyypeille luultavasti koejärjestelyiden eriävyyksien ja pohjapaineen kasvun pienentävän vaikutuksen vuoksi. Taulukkoon 4 on koottu kirjallisuudesta saatuja kitkakertoimien suositusarvoja eri alustavaihtoehdoille, joita voidaan käyttää myös pienillä pohjapaineen arvoilla. (Betonilattiat 2018. 2018, 68-70.)

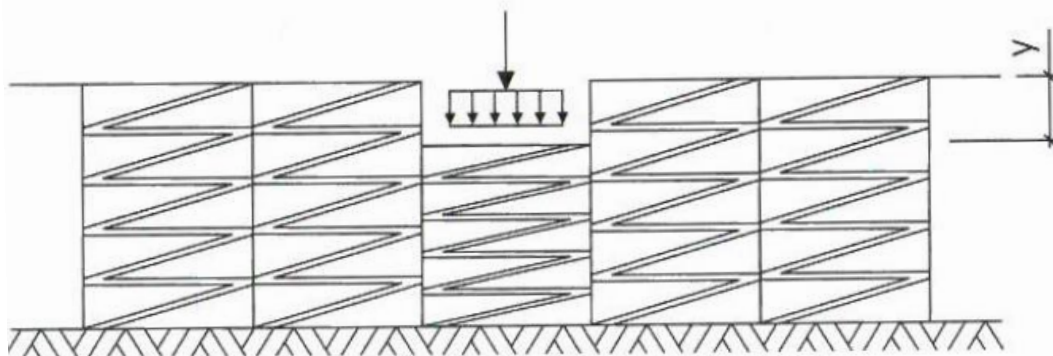
TAULUKKO 4. Laatan ja alustan välisen kitkakertoimen arvoja eri alustavaihtoehtoilla (Betonilattiat 2018. 2018, 70)

Kitkakerroin μ_f	Alustan kuvaus
0,5...0,75	Kun laatan alla on 1 tai 2 muovikalvoa tasaisen ja hyvin tiivistetyn hiekkakerroksen päällä, raekoko on 0...8 mm.
1,0	Kun laatan alla on tasainen hiekkakerros (20...40 mm), raekoko on 0...8 mm.
1,0	Kun laatta valetaan solumuovieristeen päälle.
1,0	Kun laatan alla on muovikalvo tasaisen hyvin tiivistetyn sora- tai murskekerroksen päällä.
1,5	Kun laatan alla on hyvin tiivistetty ja tasainen sora- tai murskekerros.
$\geq 2,0$	Kun laatan alla on tiivistämätön tai epätasainen murske- tai sorakerros.
3,0	Kun laatan alapinnassa on paksunnoksia, jotka estävät kutistumis- ja lämpöliikkeen.

2.3 Lattian alusrakenteet

Maanvaraisen lattian alusrakenteella käsitetään luonnon pohjamaan päälle rakennettavat täyttömateriaalit ja lämmöneristeet. Pohjamaa voi olla kokonaan luonnontilaista perusmaata, vanhaa rakennettua täyttömaata tai pohjanvahvistustoimenpiteillä suunnitelmallisesti lujitettua maata. Lattian alusrakenne pääse puristumaan kokoonsa pitkäaikaisen kuormituksen alla, ja alusrakenteiden suunnittelussa tämä tulee huomioida varmistamalla painuman ja jouston pysyminen riittävän pienenä lattian käytön aikaisilla kuormilla. Alusrakenteen eri kerrosten muodonmuutosominaisuuksia kuvataan kirjallisuudessa termillä kimmomoduuli, joka yksinkertaistettuna kuvaa maapohjan tiiveyttä ja siirtymäominaisuuksia. Kimmomoduuli saa sitä suuremman arvon, mitä kantavampi, tiiviimpi ja vähemmän painuva maapohja on. (Betonilattiat 2018. 2018, 71-72.)

Maanvaraisen lattian mitoituksessa käytettävässä alustalukumenetelmässä kuvataan alustan tietyn pisteen painumaa ja sen suoraan verrannollisuutta tässä pisteessä vaikuttavalle kuormitukselle. Käsineläskennassa tätä kuvataan yksinkertaisella Winklerin alustamallilla, joka muodostuu joukosta toisistaan irti olevista kimmoisista jousista, joilla jokaisella on sama jousivakio. Malli soveltuu käsineläskenta- ja tietokonemenetelmiin. (Rakennustekniikan käsikirja. 1970, 804; Betonilattiat 2018. 2018, 73-74.)



KUVA 3. Winklerin alustamalli, jossa alustaa kuvataan yhdellä alustaluvulla (Betonilattiat 2018. 2018, 69)

Winklerin mallin mukaisella alustalukumenetelmällä pystytään helposti ratkaisemaan maanvaraisen laatan voimasuureet, pohjapaine sekä laatan taipumat pistemäisen kuormituksen tapauksessa, mutta sen ongelmana on yksittäisten alustalukujen määrittäminen, sillä todellisuudessa alustaluku laatan koko alalla ei ole vakio. Alustaluvun paikallisella vaihtelulla ei ole todettu olevan kovin suurta vaikutusta laatan paksuuteen, jolloin yksinkertaisen alustalukumenetelmän voidaan todeta olevan riittävän tarkka käsinlaskentaan, etenkin murtokuormaa alemmilla kuormilla. (Betonilattiat 2018. 2018, 72-74.)

2.4 Kutistuma ja lämpötilan muutokset

Ylä- ja alapinnan välisestä lämpötila- ja kosteuserosta johtuvat kutistumiserot laatan kuivuessa pyrkivät käyristämään laattaa ylöspäin, jota laatta omalla painollaan pyrkii vastustamaan. Laatan kuiva ja kylmä yläpinta ottaa vastaan taivutusvetojäännityksiä ja kostea ja lämmin alapinta puristusjäännityksiä. Laatan oman painon aiheuttama momentti ei aina riitä estämään käyristymistä etenkin ohuissa lattioissa. Laatan vapaan nurkan käyristymisen aiheuttama nousu lasketaan kaavalla 1 ja laatan oman painon kumoava vaikutus kaavalla 2. Nurkan lopulliselle nousulle saadaan likiarvo kaavasta 3, jossa laatan nurkan noususta vähennetään oman painon vaikutus. (Betonilattiat 2018. 2018, 66-67.)

$$y_1 = \frac{\Delta\varepsilon(L_a^2 + L_b^2)}{8h} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$y_2 = \frac{gx^4}{30E_c I_c} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$y = y_1 - y_2 \quad \text{KAAVA 3}$$

$\Delta\varepsilon$ = pintojen välinen venymäero ($\Delta\varepsilon = 0,00008$, kun laatta lämpenee yläosastaan, ja $\Delta\varepsilon = 0,00004$, kun laatta jäähtyy yläosastaan)

$L_{a,b}$ = laatan pitempi ja lyhyempi sivumitta (m)

g = laatan omapaino x :n etäisyydellä nurkasta (kN/m^2)

x = etäisyys laatan vapaasta nurkasta (m)

Laatan käyristymistä parantavia toimia voidaan tehdä jo suunnitteluvaiheessa. Lattian suunnittelija ei yleensä ota kantaa työtekniikkaan tai lattiabetonin koostumukseen, joten suunnittelijan parhaat työkalut käyristymisen kumoamiseen ovat lattian paksuuden optimointi, betonin kuivumisen parantaminen ja saumarakenteiden suunnittelu. Yläpinnan raudoitus pienentää käyristymistä, kun taas alapinnan raudoitus lisää sitä, mutta koska lattioiden korkeudet eivät ole suuria ja suojabetonipeitteet vaativat osansa lattian toimivasta korkeudesta, ei raudoituksen vaikutusta käyristymiseen voida pitää merkittävänä. Tavanomaisesti raudoitetussa lattiassa yläpinnan raudoitus vähentää käyristymistä noin 10–15 %. (Pitkänen 2008.)

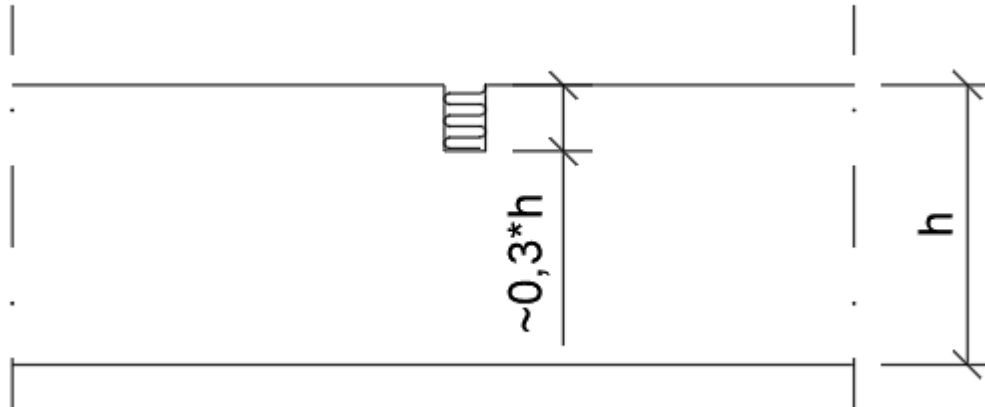
Lattian lujuutta määritettäessä tulee muistaa lattian lujuuden kasvattamisen vaikutukset lattian kuivumiseen. Lujuuden kasvaessa kasvaa myös lattian tiiveys, hidastaen betonin kuivumista ja käyristymisen palautumista. Lattian lujuuden lisäämisen sijaan lattian paksuuden kasvattamista voidaan pitää parempana keinona käyristymisen ehkäisyyn. Lattian ylä- ja alapinnan epätasainen kuivuminen edistää käyristymisen muodostumista, ja esimerkiksi laatan alapuolelle asennettava läpäisemätön muovikalvo aiheuttaa pahimmillaan lattian kuivumisen pelkästään yläpinnastaan. (Pitkänen 2008.)

Lattian jälkihoidolla on keskeinen merkitys, kun pyritään estämään kuivumisen aiheuttamia nurkkien nousua. Jälkihoidon ensisijainen tarkoitus on estää betonipinnan liian aikainen kuivuminen ja suojata lattiaa ulkoisilta rasituksilta kovettumisen alkuvaiheessa. Kuivumisen alkuvaihe on lattian säilymisen ja lujittumisen kannalta kriittinen vaihe, jossa tehdyt virheet ovat nopeasti havaittavissa halkeiluna, betonin lujuuden heikkoutena ja nurkkien liiallisena käyristymisenä. Onnistunut jälkihoito tarkoittaa oikean jälkihoitomenetelmän valintaa ja jälkihoidon aloituksen oikeaa ajoittamista. Jälkihoitomenetelmä valitaan kohdekohtaisesti vallitsevien betonointiolosuhteiden, käytettävien työmenetelmien sekä pinnalle asetettujen laatuvaatimusten mukaan. Parhaaseen tulokseen päästään aloittamalla jälkihoito heti valun päätyttyä. (Betonilattiat 2018. 2018, 174-175.)

2.5 Lattian saumarakenteet

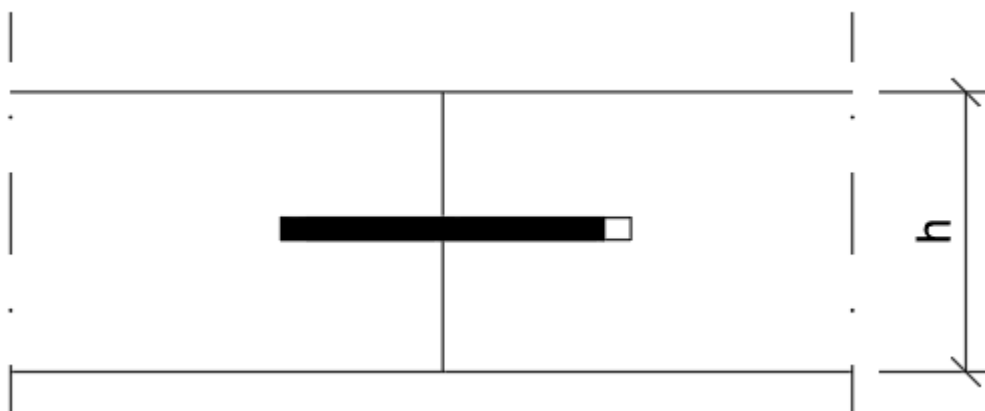
Maanvaraisissa lattioissa käytettävät saumarakenteet ja saumojen määrät vaihtelevat valettavan alueen koon ja lattian suunnitteluperiaatteiden mukaan. Sauman tehtävänä on pienentää kuivumiskutistuman aiheuttamia vetojännityksiä ja halkeilua. Saumaa pidetään maanvaraisen lattian heikoimpana kohtana, jolloin tulisi käyttää mahdollisimman harvaa saumajakoa tai suosia kutistussaumatonta lattiaa. Saumojen heikkouden vuoksi niiden suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota ja saumatyyppin valinta tulee vastata käyttöolosuhteiden vaatimuksia. (Betonilattiat 2018. 2018, 85.)

Erilaisia saumatyyppejä ovat kutistumissaumat, työsaumat ja rakenteelliset liikuntasaumamat. Kutistumissaumojä käytetään, kun halutaan sallia laatan kulmanmuutos ja sauman avautumineen. Kutistumissaumana käytetään yleisimmin joko raudoitettua tai raudoittamatonta sahasaumaa, joista raudoitetut saumat kestävät suurempia kuormia, mutta eivät salli yhtä suuria laatan liikkeitä, kuin raudoittamattomat saumat. Sahasauma toimintaperiaatteeltaan heikentää paikallisesti laatan vetokestävyyttä, jolloin kutistumishalkeamat saadaan ohjattua näihin laatan heikennettyihin kohtiin. Sahasauma toteutetaan sahaamalla lattiaan valun jälkeen 3 mm leveä ja noin 30 % lattian paksuudesta oleva ura. Kuvassa 4 on esitetty tyyppiesimerkki sahatusta kutistumissaumasta. Sahasauma sopii kevyesti kuormitettujen lattioiden kutistusmissaumaksi. (Betonilattiat 2018. 2018, 86.)



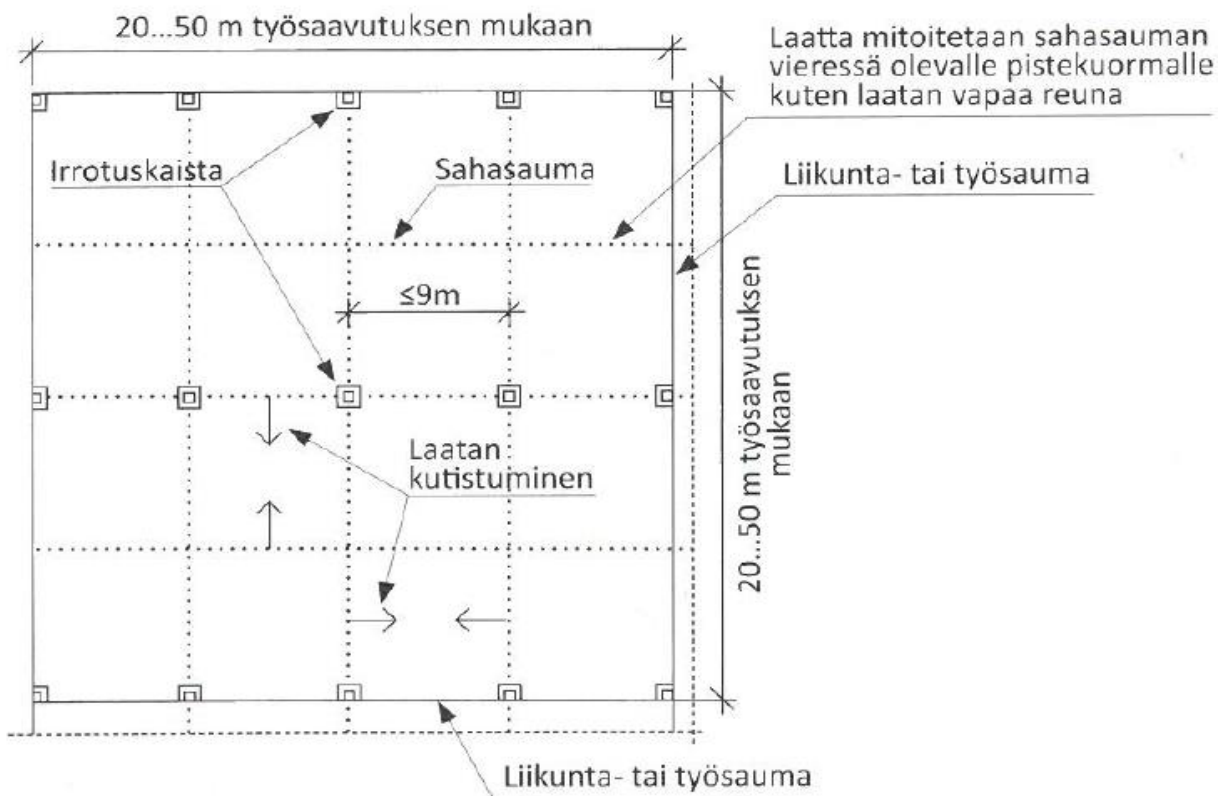
KUVA 4. Tyypiesimerkki raudoittamattomasta sahasaumasta

Rakenteellisessa liikuntasaumassa laatta katkaistaan sauman kohdalta kokonaan. Tällöin se sallii laatan pituussuuntaisen liikkeen ja kiertymisen, ja suunnittelussa se mitoitetaan siirtämään laatan leikkausrasituksia katkaisukohdan läpäisevillä raudoitteilla. Raudoitteet voidaan toteuttaa tapituksella, kuten kuvassa 5, tai kokonaan erillisellä liikuntasaumalaitteella. Saumojen suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota liikennöidyissä tiloissa, joissa saumaan kohdistuu pyörärasituksia tai suuria pistekuormia. Liikuntasauvoja käytetään usein myös työsaumoina ja niitä ei tarvita sisätiloissa tavallisesti kuormitetuissa lattioissa. (Betonilattiat 2018. 2018, 85; Meriläinen 2007, 72-74.)



KUVA 5. Tyypiesimerkki tapistetusta liikuntasaumasta

Lattian kutistumissaumaväliksi suositellaan käytettäväksi noin 30 kertaista lattian paksuutta, jolloin 100 mm paksulla laattalla tämä tarkoittaisi 3 metrin saumaväliä. Yli 6 metrin saumaväleillä on huomattu lattian kutistumisen takia saumojen liiallista avautumista, jolloin saumojen suunniteltu kuormansiirtokyky on hävinnyt. Kutistumissaumojen sijaintia suunnitellessa tulee varmistaa, ettei lattiaan tehtäviä paksunnoksia sijoiteta saumojen viereen, ja vastaavasti lattian mahdolliset heikennykset sijoitetaan saumojen viereen. Kuvassa 6 on esimerkki laaja-aluevaluna toteutetun lattian saumoista. (Betonilattiat 2018. 2018, 87-88.)



KUVA 6. Laaja-aluevaluna toteutettu lattia kutistumissaumoilla (Betonilattiat 2018. 2018, 88)

3 LATTIAN KUORMITUSYHDISTELYT JA VOIMASUUREET

3.1 Lattian mitoituksen kuormitusyhdistelyt

Maanvaraiselle lattialle valikoituu seuraamusluokaksi yleensä eurokoodin seuraamusluokka 2. Vain jos rakenteen vaurioitumisen taloudelliset seuraamukset olisivat merkittävän suuret, valittaisiin eurokoodin seuraamusluokka 3. Toteutusluokka valitaan seuraamusluokan ja laatuvaatimusten mukaan. Tavallisissa tapauksissa valitaan toteutusluokka 2. Kun kohde on erityisen vaativa tai seuraamusluokka on 3, valitaan toteutusluokaksi 3. Kaikissa maanvaraisissa lattiarakenteissa käytetään normaalia toleranssiluokkaa 1. (Betonilattiat 2018. 2018, 90.)

Taulukossa 5 on esitetty murtorajatilan mitoitukseen valittavat osavarmuusluvut. Käyttörajatilamitoituksessa kuormien ja materiaalien osavarmuuslukuina käytetään arvoa 1,0. Kuorman dynaaminen liikkuvuus huomioidaan mitoituksessa tarvittaessa kertomalla kuorman ominaisarvo sysäyskertoimella 1,40. Työkone- ja trukkikuormien tapauksessa tätä dynaamisuutta huomioidaan sysäyskertoimella 1,40, jos trukissa on ilmarenkaat, ja kertoimella 2,00, jos trukissa on umpirenkaat. (Betonilattiat 2018. 2018, 60, 91.)

TAULUKKO 5. Materiaalin osavarmuusluvut murtorajatilassa (Betonilattiat 2018. 2018, 70)

Mitoitustilanteet	Betoni γ_c Kuitubetoni γ_c	Betoniteräs γ_s
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,5	1,15
Onnettomuus	1,0	1,0

Murtorajatilán voimasuureiden kuormitusyhdistelyt Betonilattiat 2018 –ohjeen mukaan poikkeavat SFS-EN 1990:n kuormitusyhdistelyistä oleellisesti. Murtorajatilán kuormitusyhdistelyt voidaan tehdä eurokoodista poikkeavalla tavalla, kun lattialle kohdistuvat voimasuureet lasketaan Betonilattiat 2018 –ohjeessa esitetyillä menetelmillä ja kaavoilla. Kaavoissa 4 ja 5 on esitetty seuraamusluokan 2 kuormitusyhdistelyt ja

kaavoissa 6 ja 7 seuraamusluokan 3 kuormitusyhdistelyt Betonilattiat 2018 –ohjeen mukaisesti. Kuormitusyhdistelyiden pakkovoimilla tarkoitetaan kutistumisesta ja lämpötilaeroista aiheutuvia vetovoimia ja taivutusmomentteja. (Betonilattiat 2018. 2018, 90-91.)

Seuraamusluokassa CC2 laskettavat kuormitusyhdistelyt lasketaan kaavojen 4 ja 5 avulla seuraavasti:

$$\bullet 1,0 \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,3 Q_{k,i,max} + 1,0 \sum_{i > 1} Q_{k,i} \text{ (pakkovoimia ei huomioida)} \quad \text{KAAVA 4}$$

$$\bullet 1,0 \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,0 Q_{k,i,max} + 1,0 \sum_{i > 1} Q_{k,i} \text{ (pakkovoimat huomioidaan)} \quad \text{KAAVA 5}$$

Seuraamusluokassa CC3 laskettavat kuormitusyhdistelyt määritetään kaavoilla 6 ja 7.

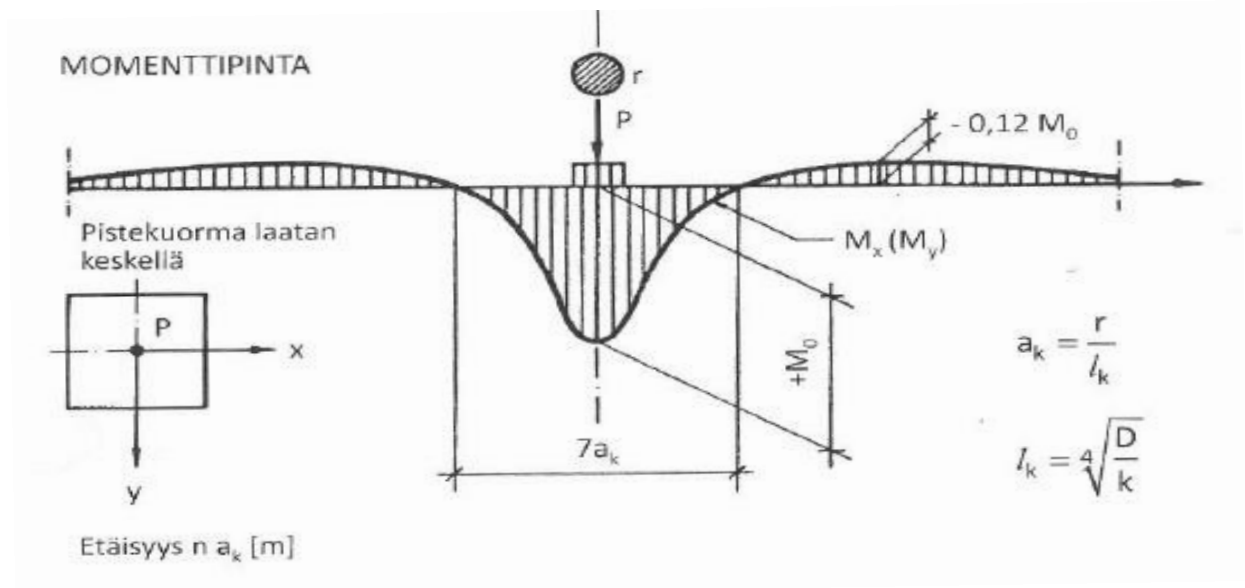
$$\bullet 1,0 \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,4 Q_{k,i,max} + 1,0 \sum_{i > 1} Q_{k,i} \text{ (pakkovoimia ei huomioida)} \quad \text{KAAVA 6}$$

$$\bullet 1,1 \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,1 Q_{k,i,max} + 1,1 \sum_{i > 1} Q_{k,i} \text{ (pakkovoimat huomioidaan)} \quad \text{KAAVA 7}$$

3.2 Mitoittavat voimasuureet

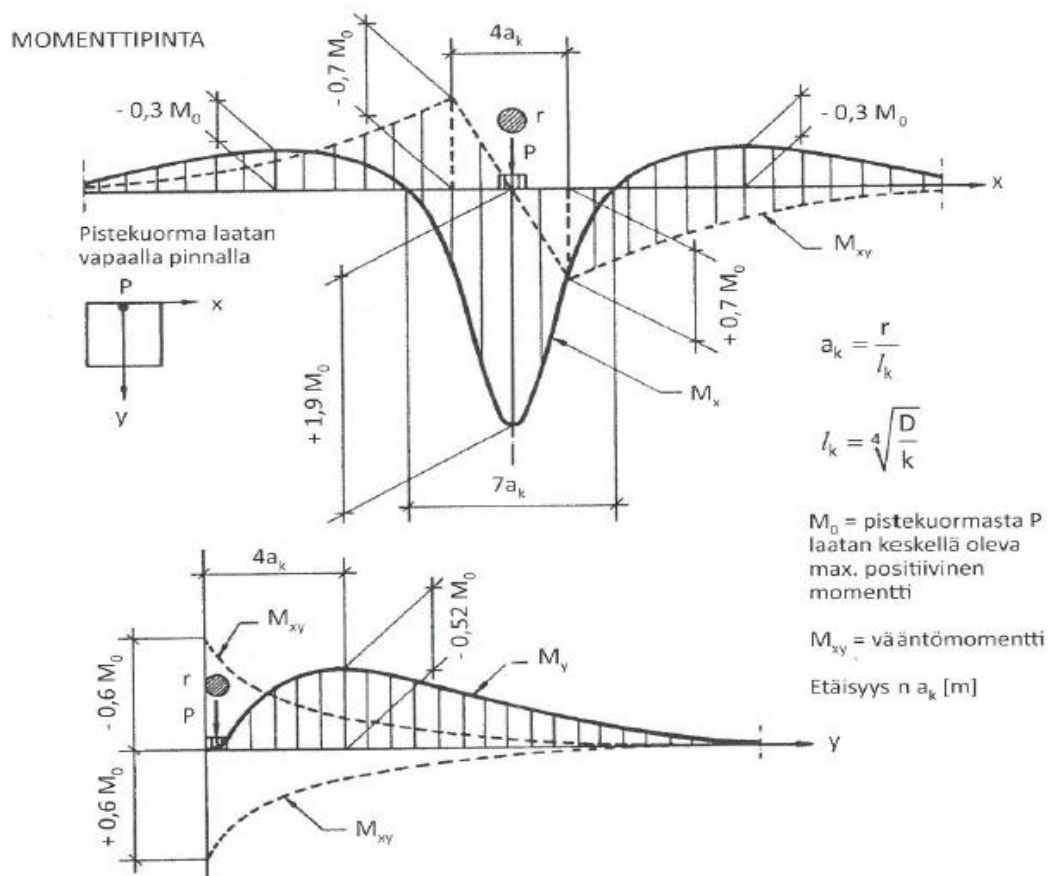
Maanvaraisen lattian mitoituksessa muodostavat liikkuvat pistekuormat yleensä mitoituksen määräävän tapauksen. Tasaisten kuormien ei oleteta aiheuttavan laattaan laisinkaan taivutusrasituksia, sillä laskennassa laatan alusta oletetaan kauttaaltaan tasaisesti kokoonpuristuvaksi. Pistekuormat voivat sijaita joko laatan keskellä, reunassa tai nurkassa. Viivakuormien aiheuttamat rasitukset voidaan laskea helpoiten tietokonemenetelmillä tai käyttäen hyväksi kimmoisalla alustalla olevia palkin mitoituskäyrästäjä. (Betonilattiat 2018. 2018, 93-94.)

Laatan keskellä sijaitseva pistekuorma aiheuttaa rasituksia lähinnä laatan alapintaan. Kuvasta 7 nähdään, miten yläpinnan negatiivinen momentti jää pieneksi verrattuna laatan alapinnan positiiviseen momenttiin. Pistekuorman kuvitellaan kuormittavan laattaa ympyränmuotoiselta alueelta, jonka sädettä r kutsutaan kuormitussäteeksi. (Betonilattiat 2018. 2018, 95.)



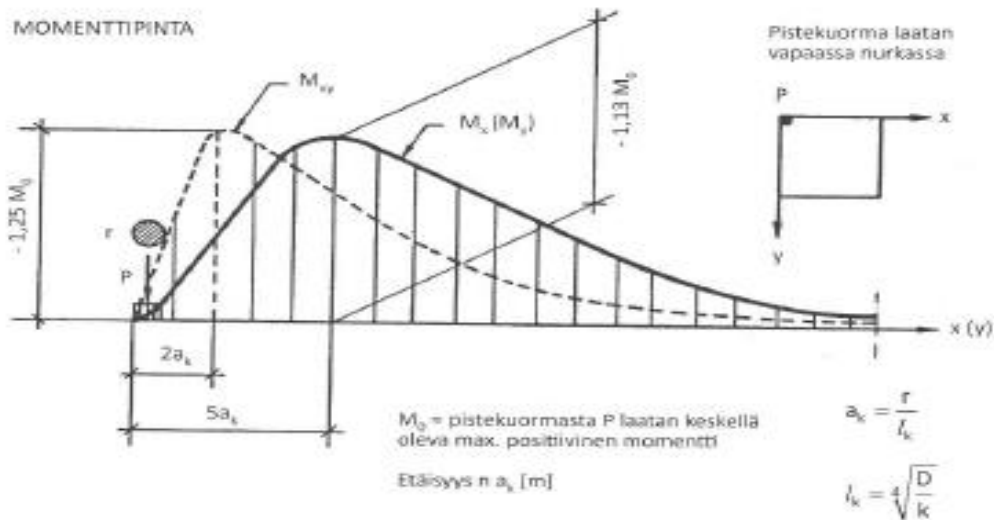
KUVA 7. Laatan keskellä vaikuttavan pistekuorman momenttipinta (Betonilattiat 2018. 2018, 88)

Pistekuorma laatan vapaalla reunalla (sauman vieressä) kasvattaa positiivista momenttia lähes kaksinkertaiseksi verrattuna samansuuruisen pistekuorman aiheuttamaan taivutusmomenttiin laatan keskellä. Kuvasta 8 nähdään, miten laatan vapaalla reunalla taivutusmomentin maksimi ei vaikuta vääntömomenttimaksimin kanssa samalla kohtaa. Vapaalla reunalla laatan taipuma kasvaa suureksi, jolloin saumarakenteen tulisi pystyä siirtämään osan pistekuorman leikkausrasituksesta sauman toiselle puolelle. (Betonilattiat 2018. 2018, 97-98.)



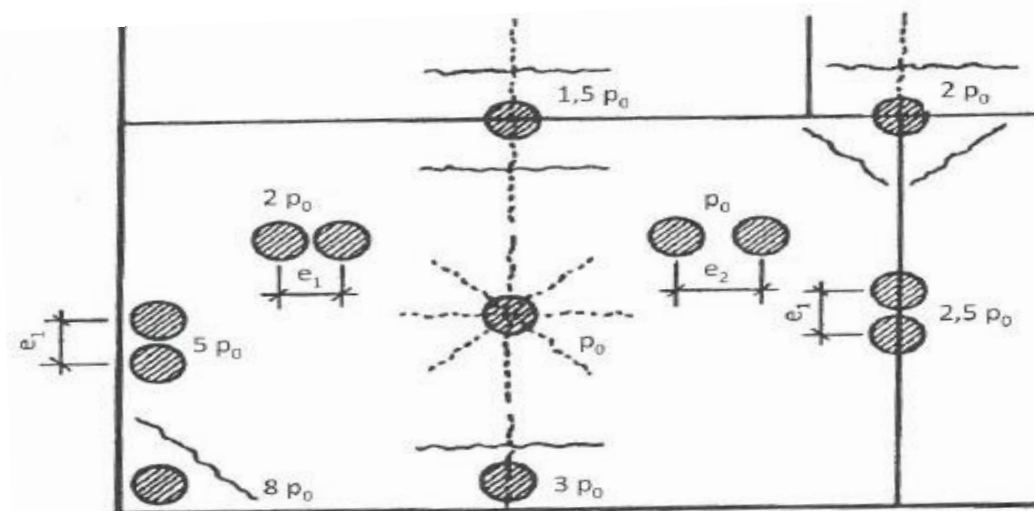
KUVA 8. Pistekuorma laatan vapaalla reunalla, momenttipinnat (Betonilattiat 2018. 2018, 97)

Laatan vapaassa nurkassa pistekuorman aiheuttama vääntömomentti kasvattaa taivutusmomenttia huomattavasti. Verrattuna x- ja y-akselien suunnassa laskettuihin momentteihin kasvaa yläpinnan negatiivinen mitoitusmomentti karkeasti otettuna noin 2-kertaiseksi vääntömomentin vaikutuksesta. Kuvassa 9 nähdään momenttien keskinäiset suhteet. Laskettaessa yläpinnan halkeilukapasiteettia tulee tämä vääntömomentin vaikutus huomioida. (Betonilattiat 2018. 2018, 98.)

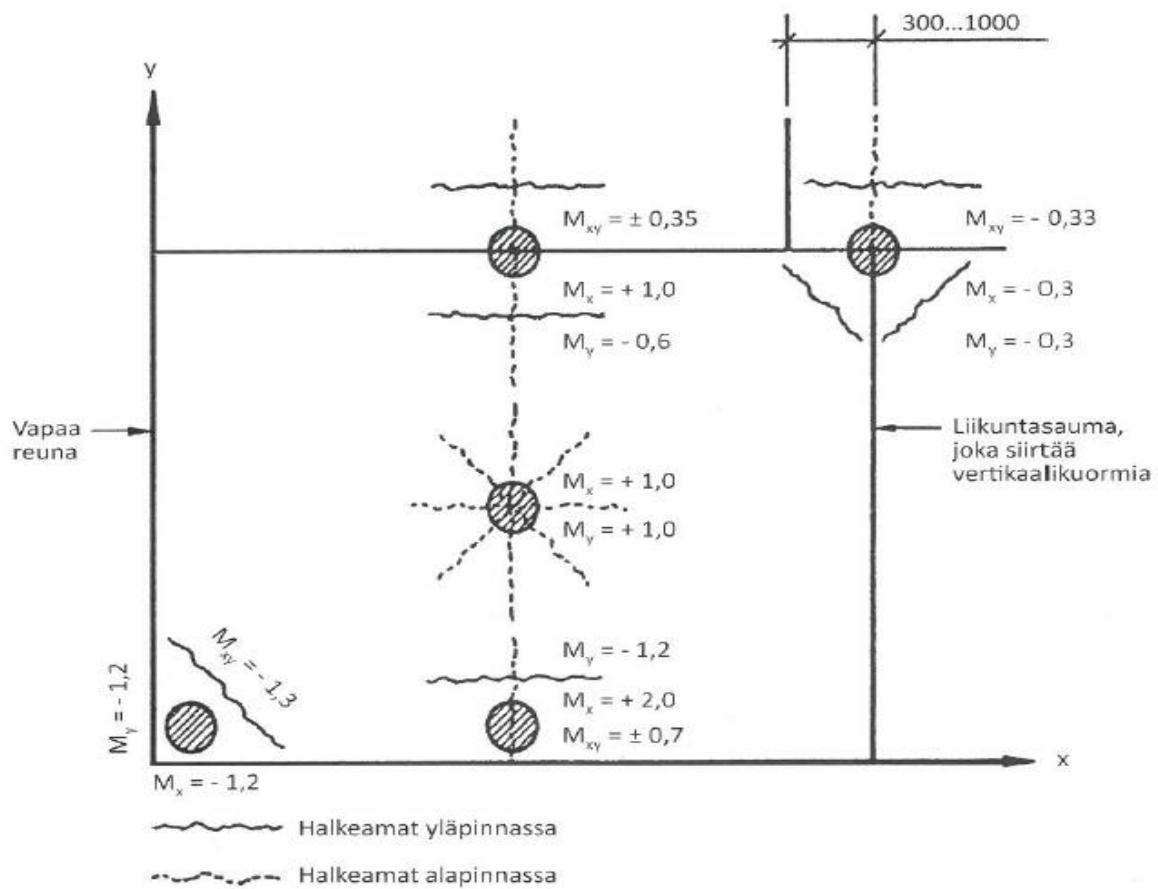


KUVA 9. Pistekuorma laatan vapaassa nurkassa (Betonilattiat 2018, 2018, 98)

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty laatan keskelle sijoitetun pistekuorman aiheuttamat suhteelliset pohjapaineet ja taivutusmomentit laatan eri kohdissa. Kuvioista nähdään laatan vapaan reunan, nurkkien ja saumojen kohtien nousevan mitoituksen kannalta määräävimiksi. Suurilla pistekuormilla lämmöneristeiden kuormituskestävyyteen laatan reuna-alueilla tulee kiinnittää erityistä huomioita. Vaikka laatan paksunnoksia tulee ensisijaisesti välttää, voi reuna-alueilla niiden käyttö olla perusteltua. (Betonilattiat 2018, 2018, 98.)



KUVA 10. Pohjapaineiden suhteelliset arvot, kun laatan keskellä oleva pistekuorma aiheuttaa pohjapaineen p_0 (Betonilattiat 2018. 2018, 98)



KUVA 11. Momenttien keskinäiset suhteet, kun laatan keskellä olevasta pistekuormasta aiheutuu momentti +1. Positiivinen momentti aiheuttaa vetoa laatan ala- ja negatiivinen laatan yläpintaan (Betonilattiat 2018. 2018, 100)

4 LATTIAN MITOITUKSEN KULKU

Luvuissa 4.1 – 4.6 käsitellään keskeisesti raudoitetun laatan mitoitusta, kun laattaa kuormitetaan tasaisen kuorman lisäksi yhdellä piste- tai pyöräkuormalla. Tässä mitoitusohjeessa ei käsitellä maanvaraisia lattioita saumattomana, joten laatan mitoituksessa laattaan kuvitellaan kutistumissaumat ennalta määrätyllä jaolla.

4.1 Alustaluvun määrittäminen

Mitoituksen aluksi tulee määrittää alustaluku. Kaavassa 8 on esitetty alustaluvun laskenta monikerroksiselle, kuvan 12 mukaiselle alusrakenteelle. Perusmaalla tarkoitetaan häiriintymätöntä pohjamaata tai vähintään 1 000 mm paksuista tiivistettyä täyttöä (Betonilattiat 2018. 2018, 75).

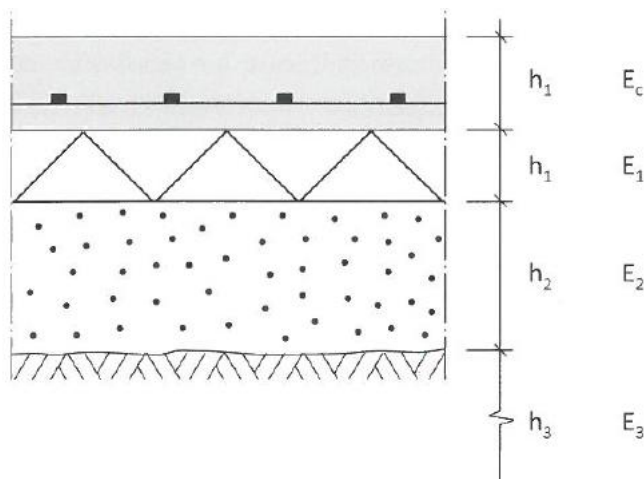
$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \frac{h_i}{E_i} + \frac{1}{k_m}}$$

KAAVA 8

h_i = alustan eri kerrosten paksuus (m)

E_i = alustan eri kerrosten kantavuusmoduuli (MN/m²)

k_m = perusmaan alustaluku (MN/m³)



KUVA 12. Useammasta kerroksesta muodostuva lattian alusrakenne (Betonilattiat 2018. 2018, 74)

Tutkimusten mukaan k-arvon arvioinnissa 50 %:n virhe aiheuttaa 5 % virheen lattian paksuudessa, eli sen merkitys ei ole niin suuri kuin yleisesti ajatellaan. Alustan kimmomoduuleja arvioidessa ei aina ole käytössä kohteen tarkkoja maaparametreja, jolloin mitoitus joudutaan tekemään taulukkomitoituksena, mikä yleensä johtaa ylimitoitamiseen. Erityisesti haastavissa kohteissa voidaan maan tiivistyksen jälkeen suorittaa levykuormituskokeet, joiden perusteella mitoituslaskelmat voidaan tarkistaa ennen valutyötä. (Matsinen 2012.)

4.2 Pistekuormasta aiheutuva taivutusmomentti

Taivutusmomenttien määrittäminen alkaa kuormituspinnan säteen laskennalla. Jos tarkasteltava kuorma on pistekuorma, lasketaan kuormituspinnan säde kaavalla 9 ja pyöräkuorman tapauksessa kaavalla 10. (Betonilattiat 2018. 2018, 101.)

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} + \frac{h}{2} \quad \text{KAAVA 9}$$

A = pistekuorman kuormitusala (m²)

h = betonilaatan paksuus (m)

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} + \frac{h}{2} \quad \text{KAAVA 10}$$

P = pyöräkuorma, työkonekuormat (kN)

q = rengaspaine (yleensä 600...800 kN/m²) tai kosketuspaine

Seuraavaksi tulee määrittää laatan elastinen jäykkyyssäde l_k kaavalla 11 (Betonilattiat 2018. 2018, 101).

$$l_k = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} \quad \text{KAAVA 11}$$

k = alustaluku (MN/m³)

D = lattian jäykkyys (MNm)

Laatan jäykkyyssäteen laskentaan tarvittava laatan jäykkyys D saadaan ratkaistua kaavasta 12. Jäykkyyden laskentaan käytettävä betonin sekanttimoduuli E_{cm} saadaan kaavasta 13. Jos rauditus on sijoitettu keskeisesti, voidaan laatan jäykkyyttä laskettaessa käyttää laatan hyötykorkeuden d arvoa 0,85 h. (Betonilattiat 2018. 2018, 101.)

$$D = \frac{E_{cm} d^3}{12} \quad \text{KAAVA 12}$$

$$E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \quad \text{KAAVA 13}$$

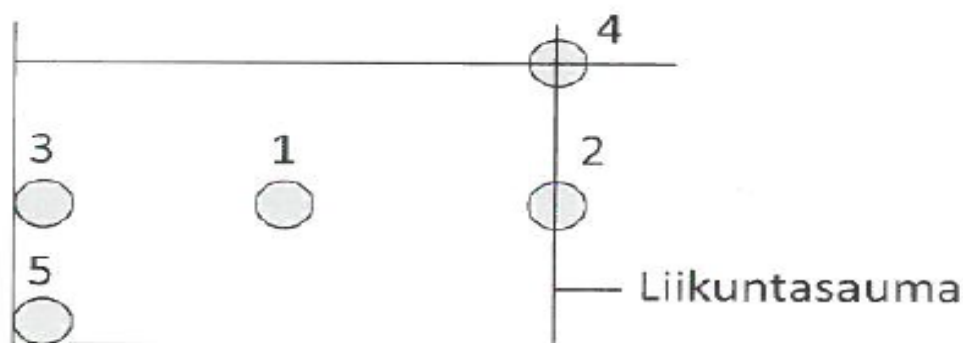
f_{cm} = betonin keskimääräinen puristuslujuus (MN/m²)

d = laatan hyötykorkeus (m)

Kuormituspinnan säteen ja laatan jäykkyyssäteen laskennan jälkeen voidaan ratkaista laatan suhteellinen kuormitusjakauma a_k kaavalla 14 ja siirtyä taivutusmomenttien laskentaan (Betonilattiat 2018. 2018, 102).

$$a_k = \frac{r}{l_k} \quad \text{KAAVA 14}$$

Mitoituksessa tarkastellaan viittä eri pistettä, joissa piste- tai pyöräkuorma pystyy vaikuttamaan. Laatan tarkasteltavat pisteet on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Laatan tarkasteltavat pisteet (Betonilattiat 2018. 2018, 103)

Laatan tarkasteltavia pisteitä vastaavat käsinlaskentakaavan on esitetty kaavoissa 15-22. Käsinlaskentakaavoissa lasketaan minimi- ja maksimimomenttien ominaisarvoja, jossa positiivinen momentti aiheuttaa vetoa laatan ala- ja negatiivinen laatan yläpintaan (Betonilattiat 2018. 2018, 103).

$$M_{1max} = +P(0,056 - 0,211 \log a_k) \quad \text{KAAVA 15}$$

$$M_{1min} = -0,02P \quad \text{KAAVA 16}$$

$$M_{2max} = +P(0,049 + 0,015a_k - 0,263 \log a_k) \quad \text{KAAVA 17}$$

$$M_{2min} = -0,033P \quad \text{KAAVA 18}$$

$$M_{3max} = +P(0,013 + 0,068a_k - 0,526 \log a_k) \quad \text{KAAVA 19}$$

$$M_{3min} = -0,066P \quad \text{KAAVA 20}$$

$$M_{4min} = \frac{P}{8}(1 - 0,74a_k^{0,6}) \quad \text{KAAVA 21}$$

$$M_{5min} = \frac{P}{2}(1 - 1,23a_k^{0,6}), \text{ kun } a_k \leq 0,5 \quad \text{KAAVA 22}$$

P = pistekuorma tai pyöräkuorma (kN)

a_k = suhteellinen kuormitusjakauma

Pistekuorman aiheuttamaa pohjapainetta on syytä tarkastella, jos lattiaa lämmöneristetään edes joiltain osiltaan. Lämmöneristeiden puristuskestävyys saattaa ylittyä paikallisesti erityisesti laatan reuna-alueilla, joissa pohjapaineen arvot voivat nousta huomattavan suuriksi. Käsinlaskentakaavoissa on esitetty kaava pohjapaineen p_0 laskemiseksi laatan keskellä (kaava 23). Kun laatan keskellä vaikuttavan pohjapaineen

arvo on tiedossa, voidaan laatan reuna-alueilla vaikuttavan pohjapaineen arvo arvioida kuvan 10 (sivulla 21) mukaisesti. (Betonilattiat 2018. 2018, 104.)

$$p_0 = \frac{P}{8l_k} [1 - a_k^2(0,217 - 0,367 \log a_k)] \quad \text{KAAVA 23}$$

P = pistekuorma tai pyöräkuorma (kN)

4.3 Kitkavoima ja lämpötilaeroista aiheutuva momentti

Tarkastellaan kitkavoiman aiheuttamaa keskeistä vetovoimaa laatalle ja lämpötilaeroista aiheutuvaa taivutusmomenttia. Kitkavoiman aiheuttama vetorasitus pystytään määrittämään, jos tiedetään laatalle kohdistuvat pystykuormat sekä laatan ja alustan välinen kitkakerroin. Kitkakertoimia on esitetty taulukossa 4. Maanvaraiselle lattialle määritetään keskeisen vetovoiman arvo N_k kaavalla 24. (Betonilattiat 2018. 2018, 69.)

$$N_k = (g + q)\mu_F L_x \quad \text{KAAVA 24}$$

g = omapaino (kN/m²)

q = hyötykuorma (kN/m²)

μ_F = laatan ja alustan välinen kitkakerroin

$L_x = L/2$, kun laatta pääsee liikkumaan vapaasti (m)

L = laatan pituusmitta, liikuntasaumaväli (m)

Lämpötilanmuutoksista aiheutuvat tilavuudenmuutokset aiheuttavat lattialle taivutusrasituksia rakenteen lämpimälle puolelle ja puristusrasituksia kylmälle puolelle. Tällaisia rasituksia tulee tarkistella kohteissa, joissa laatan pintojen lämpötilaerot voivat olla suuria (esimerkiksi pakaste- ja kylmävarastot, leipomot ja laatan reunat ajo-ovien kohdalla). Lämpötilaeron aiheuttama taivutusmomentti laatalle lasketaan kaavalla 25. (Betonilattiat 2018. 2018, 105.)

$$M_{\Delta T} = \frac{\alpha \times \Delta T \times E_{cm} \times d^2}{12} \quad \text{KAAVA 25}$$

$\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, lämpölaajenemiskerroin

$\Delta T = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$, kun laatta lämpenee yläosastaan

$\Delta T = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$, kun laatta jäähtyy yläosastaan

$\Delta T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, kun laatta jäähtyy yläosastaan

4.4 Mitoitus murtorajatilassa

Murtorajatilamitoituksessa vaadittavan raudoituksen laskemiseksi tulee ensiksi määrittää laatan mitoitusmomentti M_{sd} kaavalla 26. Kaavassa huomioitava keskeisen vetovoiman vaikutus (N_{Ed}) on miinusmerkkinen, jos raudoitus sijaitsee laatan keskiviivan yläpuolella, ja positiivimerkkinen raudoituksen sijaitessa keskiviivan alapuolella. (Betonilattiat 2018, 2018, 106.)

$$M_{sd} = M_{ed} - N_{ed}a_s \quad \text{KAAVA 26}$$

M_{Ed} = taivutusmomentin mitoitusarvo (kNm/m)

N_{Ed} = keskeisen vetovoiman mitoitusarvo (kN)

a_s = raudoituksen epäkeskisyys (m)

Mitoitusmomentin laskennan jälkeen ratkaistaan suhteellinen momentti μ kaavalla 27 sekä tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus β kaavalla 28 (Betonilattiat 2018, 2018, 106).

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2f_{cd}} \quad \text{KAAVA 27}$$

M_{sd} = mitoittava kokonaismomentti (kNm)

b = laattakaistan leveys (1 m)

d = laatan hyötykorkeus (m). Jos laatan paksuus alle 120mm ja raudoitus keskeinen, käytetään d arvona $0,5h$

f_{cd} = betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (N/mm²)

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad \text{KAAVA 28}$$

Laatan rakenteellisen teräsmäärän mitoituskaava valikoituu raudoituksen epäkeskisyyden mukaan. Laatan normaalivoiman epäkeskisyyttä (e_d) verrataan raudoituksen epäkeskisyyteen (a_s) ja mitoituskaava valitaan sen mukaan. Suuren epäkeskisyyden tilanteessa ($e_d > a_s$) valitaan kaava 29 ja pienellä epäkeskisyydellä ($e_d \leq a_s$) kaava 30. (Betonilattiat 2018. 2018, 106.)

$$A_s = \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{ed}}{f_{yd}}, \text{ kun } e_d > a_s \quad \text{KAAVA 29}$$

$$A_s = \frac{N_{ed}}{f_{yd}}, \text{ kun } e_d \leq a_s \quad \text{KAAVA 30}$$

e_d = normaalivoiman epäkeskisyyys (M_{Ed}/N_{Ed})

f_{yd} = betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo (N/mm²)

4.5 Laatan mitoitus käyttörajatilassa

Laatan käyttörajatilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen halkeilukestävyyttä ja haljenneen rakenteen halkeamaleveyksiä. Laatta mitoitetaan siten, etteivät rakenteelle asetetut säilyvyysvaatimukset ja laatan yläpinnalle sallitut halkeamaleveydet ylity. Laskennassa määritetään laatan halkeilukapasiteetti kaavalla 31, jonka tuloksen perusteella tehdään halkeilutarkistelu. Mikäli halkeilukapasiteetti on riittävä ($\geq 1,0$), ei halkeilutarkastelua tarvitse suorittaa sen pitemmälle. (Betonilattiat 2018. 2018, 108.)

Staattisesti määräämättömässä rakenteessa, jossa vääntörasitusta syntyy vain yhteensopivuustarkasteluissa muiden rakenneosien kanssa, ei pidetä tarpeellisena tarkastella murtorajatilan vääntökestävyyttä. Käyttörajatilan mitoituksessa vääntömomentin vaikutukset tulee huomioida. Kun käsinlaskentakaavoissa ei ole käyttörajatilan vääntömomentin vaikutuksen huomioivaa kaavaa erikseen esitetty, voidaan käyttää karkeistusta, jossa vääntömomentti kasvattaa mitoitusmomentin 2-

kertaiseksi verrattuna x- ja y-akselien suhteen laskettuihin momentteihin. (Betonilattiat 2018. 2018, 89; SFS-EN 1992-1-1. 2002, 93.)

$$\frac{N_{Ek}}{A_c f_{ctm}} + \frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \leq 1 \quad \text{KAAVA 31}$$

N_{Ek} = laatan keskeisen vetovoiman ominaisarvo (kN)

M_{Ek} = yläpintaan kohdistuva negatiivinen momentti (kNm)

$M_{R,cr}$ = halkeilumomentti (kNm)

A_c = betonipoikkileikkauksen pinta-ala (mm²)

f_{ctm} = betonin kesimääräinen vetolujuus (N/mm²)

Laatan halkeilukapasiteetin laskussa tarvittava halkeilumomentti $M_{R,cr}$ saadaan kertomalla laatan tehokas vetolujuus taivutusvastuksella kaavan 32 mukaan.

Mitoituksen helpottamiseksi voidaan betonin tehokkaan vetolujuuden arvona käyttää betonin keskimääräistä vetolujuutta, jos halkeilun oletetaan tapahtuvan ennen betonin lujuuden arvosteluikää. (Betonilattiat 2018. 2018, 108.)

$$M_{r,cr} = f_{ct,eff} * W_l \quad \text{KAAVA 32}$$

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ tai sitä pienempi, jos halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28 vuorokautta

$$W_l = bh^2/6 \text{ (mm}^3\text{)}$$

Jos kaavan 26 ehto ei täyty, tehdään halkeamaleveydestarkastelu EN 1992-1-1 kohdan 7.3.4 mukaan. Halkeaman ominaisleveyttä w_k verrataan jokaiselle betonirakenteelle määrättyyn halkeamaleveyden maksimiarvoon w_{max} . Halkeamaleveyden maksimiarvoja on esitetty Betonilattiat 2018 –ohjeessa ja eurokoodissa SFS-EN 1992-1-1. Halkeaman ominaisleveys lasketaan kaavalla 33. (Betonilattiat 2018. 2018, 108.)

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{KAAVA 33}$$

$s_{r,max}$ = halkeamavälin maksimiarvo (mm)

ε_{sm} = raudoituksen keskimääräinen venymä

ε_{sm} = keskimääräinen betonin venymä halkeamien välillä

Raudoituksen ja betonin keskimääräisten venymien erotus lasketaan kaavalla 34 (Betonilattiat 2018. 2018, 108).

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_s \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad \text{KAAVA 34}$$

σ_s = vetoraudoituksessa vaikuttava jännitys, kun poikkileikkauksen oletetaan halkeilleen (MPa)

$k_t = 0,6$ lyhytaikaiskuormille ja $0,4$ pitkäaikaiskuormille

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ tai sitä pienempi, jos halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28 vrk:ta

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Suurin halkeamaväli $S_{r,max}$ lasketaan kaavalla 35 (SFS-EN 1992-1-1 2002, 123).

Kaavassa tarvittavat tartunta- ja kansalliset kertoimet on esitetty taulukossa 6.

$$S_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} \quad \text{KAAVA 35}$$

c = vetoraudoituksen betonipeite (mm)

\emptyset = tangon halkaisija (mm)

TAULUKKO 6. Suurimman halkeamavälin laskentaan tarvittavia kertoimia (BY211, osa 1.2013, 212)

Kerroin	Kertoimen arvo	Selite
k_1	0,8	hyvä tartunta
	1,6	huono tartunta (lähes sileä)
k_2	0,5	taivutus
	1,0	suora veto
k_3	3,4	kansallisesti valittava kerroin
k_4	0,425	kansallisesti valittava kerroin

4.6 Laatan lävistys

Laatan lävistyskapasiteetin laskenta suoritetaan eurokoodi EN 1992-1-1 ja sen kansallisen liitteen mukaisilla kaavoilla. Laatan lävistysehtona käytetään lauseketta $P_d \leq V_c$. Betonilattiat 2018- ohjeen mukaan, jossa laatan leikkauskestävyyden arvoa verrataan lävistävän piste- tai pyöräkuorman mitoitussarvoon arvoon. Leikkauskestävyyden mitoitussarvo lasketaan kaavalla 36 (SFS-EN 1992-1-1 2002, 84).

$$v_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp}] b_w * d \quad \text{KAAVA 36}$$

$$\text{jolle vähimmäisarvo: } v_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) b_w * d$$

$C_{Rd,c}$ = kerroin, jonka laskeminen esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0, \text{ kun paksuuden } d \text{ yksikkö mm}$$

f_{ck} = betonin lieriölujuuden ominaisarvo (MPa)

k_1 = kerroin, jonka arvo esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä

$$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0,2 f_{cd} \text{ (MPa)}$$

v_{min} = leikkauslujuuden vähimmäisarvo, esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02$$

A_{sl} = vetoraudoituksen pinta-ala (mm²)

b_w = poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella (mm)

d = laatan hyötykorkeus (mm)

Leikkausraudoittamattoman rakenteen lävistyskestävyyttä määrittämiseen tarvittavaa kerrointa $C_{rd,c}$ varten on kansallinen liite määrännyt kaavan 37 (Rakenteiden lujuus ja vakaus. 2019, 19).

$$C_{rd,c} = \frac{0,3 \left(\frac{D}{d} + 1,5 \right)}{\gamma_c \left(\frac{D}{d} + 4 \right)} \quad \text{KAAVA 37}$$

γ_c = betonin osavarmuuskerroin

d = laatan hyötykorkeus. Jos raudoitus on keskeinen, voidaan käyttää $d=h$

D = peruslaattaan tulevan pilarin halkaisija, tässä tapauksessa kaksi kertaa kuormituspinnan säde r

5 POHDINTA

Opinnäytetyötä lähdettiin työstämään ajatuksesta tutkia maanvaraisen teräsbetonilattian käsinmitoitusprosessia ja tuottaa laskennan nopeuttamiseen käytettävä Microsoft Excel –laskentapohja. Käsinslaskenta koettiin tarpeettoman työlääksi työvaiheeksi ja erilaisten kuormitustilanteiden nopeaa tarkastelua oli käytännössä mahdotonta suorittaa.

Opinnäytetyön raporttiosuudessa käsiteltävät aiheet ovat rakennesuunnittelijalle, eli laskentapohjan käyttäjälle, suunnattuja tärkeitä lattiaan liittyviä tekijöitä, joiden tiedostamista voidaan pitää edellytyksenä onnistuneeseen suunnitteluun. Lattian suunnittelu on prosessi, jossa tarvitaan tietämystä työmaan työtekniikoista ja yleisesti ottaen betonirakentamisesta, jolloin lattian oikea laskennallinen mitoitus ei kuitenkaan takaa onnistunutta lopputulosta. Mitoituksen suorittaminen parhaalla mahdollisella tavalla kuitenkin asettaa raamit parhaalle lopputulokselle.

Laatan käsinmitoitukseen käytettävät kaavat jättävät hieman epävarmuutta koskien tapausta, jossa laattaa kuormittaa pistemäisen kuorman sijaan. Viivakuormien aiheuttamia rasituksia pyritään usein hoitamaan suoraan viivakuorman alle tulevalle laatanvahvennuksella, mikä ei laatan kutistumisen ja näin kitkavoimien muodostumisen kannalta ole hyväksi. Viivakuormien aiheuttamien rasitusten määrittämiseen ei ole määrätty omia käsinslaskentakaavoja, jolloin joudutaan turvautumaan erillisiin kimmoisan palkin mitoituskäyrästöihin tai tietokonemenetelmiin.

Tekniikan parissa työskenteleminen on uusien tekniikoiden ja kehittyneempien menetelmien soveltamista vanhoihin, jo käytännön maailmassa hyväksi todettuihin ratkaisuihin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että ne vanhat menetelmät olisivat tulevaisuudessakin ”oikeassa”, vaan tekniikan viehätys ainakin omalta osaltani perustuu juuri tähän mahdollisuuteen kyseenalaistaa näitä vanhoja ratkaisuja. Vaikka tulevaisuudessa maanvaraisia lattioita tullaan mitoittamaan näillä käsinslaskukaavoilla vielä pitkään, ovat nämä mitoitusmenetelmät mielestäni tulossa elinkaarensa päähän. Kehittyneiden tietokonemenetelmien saatavuuden parantuessa tulee markkinoille suunnittelijan apuvälineeksi epäilemättä parempia mitoitusvälineitä, jotka pystyvät vastaamaan nykyisten käsinslaskentamenetelmien jättämiin aukkoihin.

Opinnäytetyön tuloksena syntynyt laskentapohja laskee alusrakenteen alustaluvun, mitoittaa maanvaraisen lattian keskeisesti tai kahteen pintaan raudoitettuna, suorittaa käyttörajatilan halkeilutarkastelun ja laskee laatan lävistyskestävyyden. Käyttäjän tarvitsee tietää oman kohteensa lattialle määrätyt laatuvaatimukset, rasitukset ja alustavat dimensiot. Laskentapohja antaa tuloksena laatan vaatiman raudoituksen käyttäjän antamilla rasituksilla ja tekee tuloksen pohjalta halkeilu- ja lävistystarkistelu. Laskentapohjaa tehtäessä pyrittiin taulukoimaan ja listaamaan sovelluksen sisälle mahdollisimman paljon parametrejä, joita käyttäjän ei tarvitse tietää ulkoa tai etsiä muista lähteistä. Monivaiheinen käsinlaskenta nopeutuu laskentapohjalla huomattavasti ja tuloksena voidaan todeta mitoituksen laadun paraneminen.

Lopuksi haluan kiittää Samuli Palolaa, Jaakko Palolaa ja Juha-Matti Virranmäkeä Palola&Piispasen toimistolta opinnäytetyön ideasta, kannustamisesta ja hyvistä kommentteista opinnäytetyöprosessin varrella.

LÄHTEET

Betonilattiat 2018, by45/BLY7. Suomen Betoniyhdistys ry 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa1, by 211. Suomen Betoniyhdistys ry 2013. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Matsinen, Martti 2012. Betonilattioiden suunnittelusta ja toteutuksesta. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1201_30-37.pdf. Hakupäivä 26.12.2018.

Meriläinen, Teuvo 2007. Raskaasti kuormitettujen lattioiden liikuntasaumat miksi saumoja tarvitaan? Betoni nro 1. S. 72. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0701_s72-75.pdf. Hakupäivä 5.5.2019.

Pitkänen, Pertti 2008. Maanvaraisten lattioiden käyritysongelmat. VTT. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080305.pdf>. Hakupäivä 5.5.2019.

Rakennustekniikan käsikirja, Pääjakso 1: Yleiset perusteet II osa. 1970. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Rakenteiden lujuus ja vakaus. 2019. Betonirakenteet. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B281486B7-FA18-4532-82C4-767392EE368F%7D/153760>. Hakupäivä 17.12.2019.

SFS-EN 1991-1-1 + AC. Eurokoodi 1. 2002 Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat.

SFS-EN 1992-1-1 + AC. Eurokoodi 2. 2015 Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

Suunnittelun sovellusohjeet, by16. Suomen Betoniyhdistys ry 1984. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Lähtötiedot:

Toteutusluokka:	2
Seuraamusluokka:	CC2
Betonin lujuusluokka:	C30/37
Laatan korkeus:	110 mm
Liikuntasaumaväli:	6,0 m
Teräksen myötölujuus:	500 MPa
Pysyvien kuormien ominaisarvo:	3,0 kN/m ²
Muuttuvien kuormien ominaisarvo:	3,0 kN/m ²
Pyöräkuorma:	20 kN
Rengaspaine:	600 kN/m ²

Alapohjarakenne:

Betonilaatta	110 mm
EPS 200	200 mm
Tasaushiekka	40 mm
Tiivis sora	400 mm
Perusmaa	Tiivis hiekkasora

Alustaluvun määrittäminen:

$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \frac{h_3}{E_3} + \frac{1}{k_m}} = \frac{1}{\frac{0,2m}{16MN/m^2} + \frac{0,04m}{40MN/m^2} + \frac{0,4m}{100MN/m^2} + \frac{1}{80MN/m^3}}$$

$$= 33,3MN/m^3$$

h_i = alustan eri kerrosten paksuus (m)

E_i = alustan eri kerrosten kantavuusmoduuli (MN/m²)

k_m = perusmaan alustaluku (MN/m³)

Kuormituspinnan säde:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} + \frac{h}{2} = \sqrt{\frac{20kN}{\pi * 600kN/m^2}} + \frac{0,11m}{2} = 0,158m$$

P = pyöräkuorma (kN)

q = rengaspaine (kN/m²)

h = laatan korkeus (m)

Betonin kimmomoduuli ja laatan jäykkyys:

$$E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22 \cdot \left(\frac{38MN}{10m^2}\right)^{0,3} = 32837MN/m^2$$

$$D = \frac{E_{cm} d^3}{12} = \frac{32837 \text{ MN/m}^2 * (0,0935 \text{ m})^3}{12} = 2,237 \text{ MNm}$$

f_{cm} = betonin keskimääräinen puristuslujuus (MN/m²)

d = laatan hyötykorkeus jäykkyydessä (m)

Elastisen laatan jäykkyyssäde:

$$l_k = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} = \sqrt[4]{\frac{2,237 \text{ MNm}}{33,3 \text{ MN/m}^3}} = 0,509 \text{ m}$$

Laatan suhteellinen kuormitusjakauma:

$$a_k = \frac{r}{l_k} = \frac{0,158 \text{ m}}{0,509 \text{ m}} = 0,310$$

Maksimi- ja minimimomenttien laskenta:

Tapaus 1. Pistekuorma laatan keskellä

$$M_{1\max} = +P(0,056 - 0,211 \log a_k) = 20 \text{ kN}(0,056 - 0,211 \log 0,310) = 3,266 \text{ kNm/m}$$

$$M_{1\min} = -0,02P = -0,02 * 20 \text{ kN} = -0,4 \text{ kNm/m}$$

Tapaus 2. Pistekuorma sauman keskellä

$$M_{2\max} = +P(0,049 + 0,015a_k - 0,263 \log a_k) = 20 \text{ kN}(0,049 + 0,015 * 0,310 - 0,263 \log 0,310) = 3,745 \text{ kNm/m}$$

$$M_{2\min} = -0,033P = -0,033 * 20kN = -0,66kNm/m$$

Tapaus 3. Pistekuorma laatan reunalla

$$M_{3\max} = +P(0,013 + 0,068a_k - 0,526 \log a_k) = 20kN(0,013 + 0,068 * 0,310 - 0,526 \log 0,310) = 6,026kNm/m$$

$$M_{3\min} = -0,066P = -0,066 * 20kN = -1,320kNm/m$$

Tapaus 4. Pistekuorma saumojen nurkassa

$$M_{4\min} = \frac{P}{8}(1 - 0,74a_k^{0,6}) = \frac{20kN}{8}(1 - 0,74 * 0,310^{0,6}) = -1,583kNm/m$$

Tapaus 5. Pistekuorma laatan nurkassa

$$M_{5\min} = \frac{P}{2}(1 - 1,23a_k^{0,6}), \text{ kun } a_k \leq 0,5$$

$$M_{5\min} = \frac{20kN}{2}(1 - 1,23 * 0,310^{0,6}) = -3,903kNm/m$$

P = pistekuorma tai pyöräkuorma (kN)

Maksimimomentti: $M_{k,\max} = \underline{+6,026kNm/m}$

Minimimomentti: $M_{k,\min} = \underline{-3,903kNm/m}$

Kitkavoiman laskenta:

$$N_k = (g + q)\mu_F L_x = (3,0kN/m^2 + 3,0kN/m^2) * 1,0 * \frac{6,0m}{2} = 18,000kN/m$$

g = omapaino (kN/m^2)

q = hyötykuorma (kN/m^2)

μ_F = laatan ja alustan välinen kitkakerroin

$L_x = L/2$, kun laatta pääsee liikkumaan vapaasti (m)

L = laatan pituusmitta, liikuntasaumaväli (m)

Laatan mitoitus murtorajatilassa:

Kuormitusyhdistelyt seuraamusluokassa 2:

Tapaus 1.

1,3 * suurin muuttuva kuorma

1,0 * muut muuttuvat kuormat

1,0 * pysyvät kuormat

Pakkovoimia ei huomioida

Tapaus 2.

1,0 * kaikki kuormat

Tapauksen 1 mitoitus:

$$M_{ed} = 1,3 * M_{k,max} = 1,3 * 6,026kNm/m = 7,834kNm/m$$

$$N_{ed} = 0kN/m$$

$$M_{sd} = M_{ed} - N_{ed} * a_s = 7,834kNm/m - 0kN/m * 0m = 7,834kNm/m$$

a_s = raudoituksen epäkeskisyys (m)

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2f_{cd}} = \frac{7,834*10^6Nmm}{1000mm*(55mm)^2*\frac{17N}{mm^2}} = 0,152$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,152} = 0,166$$

$$A_s = \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = \frac{0,166 * 1000mm * 55mm * 17N/mm^2}{435N/mm^2} + \frac{0N}{435N/mm^2} = 357mm^2/m$$

Tapauksen 2 mitoitus:

$$M_{ed} = 1,0 * M_{k,max} = 1,0 * 6,026kNm/m = 6,026kNm/m$$

$$N_{ed} = 18kN/m$$

$$M_{sd} = M_{ed} - N_{ed} * a_s = 6,026kNm/m - 18kN/m * 0m = 6,026kNm/m$$

a_s = raudoituksen epäkeskisyys (m)

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{6,026 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (55 \text{ mm})^2 \cdot \frac{17 \text{ N}}{\text{mm}^2}} = 0,117$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,117} = 0,125$$

$$A_s = \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = \frac{0,125 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 55 \text{ mm} \cdot 17 \text{ N/mm}^2}{435 \text{ N/mm}^2} + \frac{18000 \text{ N}}{435 \text{ N/mm}^2} = 310 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Vaadittava raudoituspinta-ala: 357 mm²/m

Valitaan raudoitukseksi: T10 k200 (392 mm²/m)

Laatan halkeilutarkastelu:

Halkeilukestävyyden ehto:

$$\frac{N_{Ek}}{A_c f_{ctm}} + \frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \leq 1$$

N_{Ek} = laatan keskeisen vetovoiman ominaisarvo (kN)

M_{Ek} = yläpintaan kohdistuva negatiivinen momentti (kNm)

$M_{R,cr}$ = halkeilumomentti (kNm)

A_c = betonipoikkileikkauksen pinta-ala (mm²)

f_{ctm} = betonin kesimääräinen vetolujuus (N/mm²)

Kitkavoima ajatellaan olevan vakio koko laatan alueella, jolloin $N_{ek} = N_k$

Vääntömomentin vaikutuksesta yläpintaan kohdistuva negatiivinen momentti kaksinkertaistuu, jolloin $M_{ek} = 2 * M_{k,min}$

$$N_{ek} = N_k = 18kN$$

$$M_{ek} = 2 * M_{k,min} = 2 * 3,903kNm = 7,806kNm$$

Halkeilumomentin $M_{R,cr}$ laskenta:

$$M_{R,cr} = f_{ct,eff} * W_l = \frac{2,9N}{mm^2} * \frac{1000mm * (110mm)^2}{6} = 5848333Nmm = 5,848kNm$$

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ tai sitä pienempi, jos halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28 vrk:ta

$$W_l = bh^2/6$$

Sijoitetaan halkeilukestävyys ehtoon:

$$\frac{N_{Ek}}{A_c f_{ctm}} + \frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} = \frac{18kN}{1,0m * 0,11m * 2900kN/m^2} + \frac{7,806kNm}{5,848kNm} = 1,391$$

Halkeilutarkastelun tuloksena halkeilukapasiteetti ylittyi ($1,391 > 1,0$). Seuraava vaihe on tehdä halkeamaleveydestä tarkastelu eurokoodi SFS-EN 1992-1-1 kohdan 7.3.4 mukaisesti. Vaihtoehtoisesti voidaan edetä SFS-EN 1992-1-1 kohdan 7.3.3 mukaan, jolloin halkeilutarkastelua ei tarvitse tehdä.

Laatan lävistyskapasiteetin laskenta:

Lävistyskapasiteetin laskennassa verrataan laatan leikkauskestävyyden mitoitusarvoa $V_{rd,C}$ pyöräkuorman aiheuttamaan leikkausjännityksen arvoon P_d .

$$P_d \leq V_{rd,C}$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvon laskenta:

$$v_{Rd,C} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp}] b_w * d$$

$$\text{jolle vähimmäisarvo } v_{Rd,C} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) b_w * d$$

$C_{Rd,c}$ = kerroin, jonka laskeminen esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0, \text{ kun paksuuden } d \text{ yksikkö mm}$$

f_{ck} = betonin lieriölujuuden ominaisarvo (MPa)

k_1 = kerroin, jonka arvo esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c < 0,2 f_{cd} \text{ (MPa)}$$

v_{min} = leikkauslujuuden vähimmäisarvo, esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02$$

A_{sl} = vetoraudoituksen pinta-ala (mm²)

b_w = poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella (mm)

d = laatan hyötykorkeus (mm)

$$C_{rd,c} = \frac{0,3 \left(\frac{D}{d} + 1,5 \right)}{\gamma_c \left(\frac{D}{d} + 4 \right)} = \frac{0,3}{1,5} * \frac{\left(\frac{2*0,158m}{0,055m} + 1,5 \right)}{\left(\frac{2*0,158m}{0,055m} + 4 \right)} = 0,148$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{55mm}} = 2,906 \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{392mm^2}{1000mm * 55mm} = 0,00712 < 0,02$$

$$k_1 = 0,1$$

$$\sigma_{cp} = \frac{18000N}{1000mm * 55mm} = 0,327N/mm^2$$

$$v_{min} = 0$$

$$v_{Rd,c} = \left[0,148 * 2,0 \left(100 * 0,00712 * \frac{30N}{mm^2} \right)^{\frac{1}{3}} + 0,1 * \frac{0,327N}{mm^2} \right] * 1000mm * 55mm$$

$$= 46968N = 47kN$$

$$P_d = 1,3 * P = 1,3 * 20kN = 26kN$$

Lävistysehto: $P_d \leq V_{Rd,c} \rightarrow 26kN \leq 47kN$ pyöräkuorma ei lävistä laattaa

Keskeisesti raudoitettun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 1/7

Rakennuskohde	
Työnumero	
Vastaava suunnittelija	
Päiväys	
Mitoituksen lähtötiedot	
Toteutusluokka	2
Seuraamusluokka	CC2
Betonin lujuusluokka	C30/37
Laatan korkeus (mm)	110
Alapinnan betonipeite (mm)	25
Saumaväli (m)	6,0
Teräksen myötölujuus (MPa)	500
Pysyvien kuormien ominaisarvo (kN/m ²)	3,0
Muuttuvien kuormien ominaisarvo (kN/m ²)	3,0
Kuormatyyppi	Pyöräkuorma
Kuormatyyppin laatu	Muuttuva
Kuormatyyppin dynaamisuus	Staatinen
Pistekuorma (kN)	0
Pyöräkuorma (kN)	20
Rengaspaine tai kosketuspaine (kN/m ²)	600
Pistekuorman kuormitusala (m ²)	0
Laatan ylä- ja alapinnan välinen lämpötilaero	0°C, tasalämmin rakennus
Tankokoko (mm)	10
k-jako (mm)	200
Laatta pääsee kutistumaan molemmilta reunoiltaan	Kyllä

Keskeisesti raudoitetun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 2/7

Kuorman jakautuminen

Alustaluku (MN/m ³)	33,333
Kuormien säteet (m)	
Pyöräkuorma	0,158
Pistekuorma	0,055
Betonin kimmomoduuli E_{cm} (MN/m ²)	32837
D (MN/m)	2,237
Elastisen laatan jäykkyyssäde (m)	0,509
Suhteellinen kuormitusjakautuma a_k	0,310

Keskeisesti raudoitettun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 3/7

Pistekuormasta aiheutuvat taivutusmomentit		[kNm/m]
Tapaus 1. Pistekuorma laatan keskellä	M_{1max}	3,264
	M_{1min}	-0,400
Tapaus 2. Pistekuorma sauman keskellä	M_{2max}	3,745
	M_{2min}	-0,660
Tapaus 3. Pistekuorma laatan reunalla	M_{3max}	6,026
	M_{3min}	-1,320
Tapaus 4. Pistekuorma saumojen nurkassa	M_{4min}	-1,583
Tapaus 5. Pistekuorma laatan nurkassa	M_{5min}	-3,903
Maksimi positiivinen taivutusmomentti (kNm/m)		6,026
Maksimi negatiivinen taivutusmomentti (kNm/m)		-3,903
Itse määritetyn momentin arvo (kNm/m)		0

Keskeisesti raudoitettun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 4/7

Pistekuormasta aiheutuva taipuma ja pohjapaine	
Tapaus 1. Pistekuorma laatan keskellä	
Taipuma (m)	0,00027827
Pohjapaine (kN/m ²)	9,276
Tapaus 2. Pistekuorma sauman kohdalla	
Taipuma (m)	0,0004464
Tapaus 3. Pistekuorma laatan reunalla	
Taipuma (m)	0,000748381
Lämpötilaeroista aiheutuva taivutusmomentti	
Taivutusmomentti M (kNm)	0
Kitkavoima	
Ned (kN/m)	18,000

Keskeisesti raudoitetun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 5/7

Mitoitus	Ilman pakkovoimia
Med (kNm/m)	7,834
Msd (kNm/m)	7,834
μ	0,152
β	0,166
As (mm ² /m)	357,303
Mitoitus	Pakkovoimilla
Med (kNm/m)	6,026
Msd (kNm/m)	6,026
μ	0,117
β	0,125
As (mm ² /m)	310,217

Keskeisesti raudoitettun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 6/7

Laskenta	
Halkeilumomentti $M_{R,cr}$ (kNm)	5,848
Momentti käyttörajatilassa M_{Ek} (kNm)	7,806
Halkeilukestävyys metrin kaistaletta kohden	1,391
Lävistyskestävyys	
Lävistyskestävyyden mitoitusarvo $V_{Rd,c}$ (kN)	47,225
P_d (kN)	26,000
Lävistyskapasiteetti	0,55
Suurin halkeamaväli	
k_1	0,8
k_2	1
k_3	3,4
k_4	0,425
k_t	0,6
$S_{r,max}$ (mm)	245

Keskeisesti raudoitetun
maanvaraisen lattian mitoitus

Sivu 7/7

Tulokset	
Vaadittu k-jako (mm)	220 Valittu k-jako riittävä
Halkeilukestävyys	1,391 Halkeilukestävyys ylittyy
Halkeaman ominaisleveys wk (mm)	0,550
Lävistyskapasiteetti	55 %